

Влияние закона регулирования на годовой расход теплоты автоматизированными климатическими системами

К.т.н., доцент О.Д. Самарин;
аспирант С.С. Азиевская,*

ФГБОУ ВПО Московский государственный строительный университет

Ключевые слова: система автоматического регулирования; энергопотребление; закон регулирования; капитальные затраты; эксплуатационные издержки

Как известно, одной из основных задач при строительстве и эксплуатации здания и его систем обеспечения микроклимата является энергоресурсосбережение. Особое значение данная тема приобретает в настоящее время, в условиях действия Закона РФ «Об энергосбережении ...» № 261-ФЗ от 23.11.09. При этом снижение энергопотребления должно достигаться комплексными средствами, включая не только повышение теплозащиты наружных ограждений, но и за счет решений, касающихся инженерного оборудования здания [1], [2]. Рассмотрим в связи с этим влияние принятого закона регулирования систем вентиляции и кондиционирования воздуха (СВ и КВ) на их суммарное энергопотребление за отопительный период Q_r , ГДж. Очевидно, что оно будет зависеть от температуры приточного воздуха $t_n, ^\circ\text{C}$, которая формируется при работе регулятора в зависимости от применяемого алгоритма управления и возмущающих тепловых воздействий.

При отсутствии утилизации теплоты вытяжного воздуха величина Q_r может быть рассчитана по следующему выражению [3], [4]:

$$Q_r = (z_p / 7) L_n c_{\text{в}} \rho_{\text{в}} D_d \cdot 10^{-6}, \quad (1)$$

где Z_p – продолжительность работы вентиляционного оборудования в течение недели, час (недельный срок принимается из-за того, что в разные дни недели оборудование может работать в течение разного времени, например, отключаться в выходные дни);

7 – число дней в неделе; L_n – производительность системы по воздуху, $\text{м}^3/\text{ч}$;

$c_{\text{в}} = 1.005 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$ – удельная теплоемкость воздуха;

$\rho_{\text{в}} \approx 1.2 \text{ кг}/\text{м}^3$ – его плотность;

$D_d = (t_{\text{в}} - t_{\text{от}}) \cdot Z_{\text{от}}$ – градусо-сутки отопительного периода.

Здесь $t_{\text{от}}$ и $Z_{\text{от}}$ – средняя температура, $^\circ\text{C}$, и продолжительность отопительного периода, сут, в районе строительства по СНиП 23-01-99 «Строительная климатология». Если известна величина t_n , она используется в выражении для D_d вместо $t_{\text{в}}$.

Компенсирующее (регулирующее) воздействие $Q_{\text{СКВ}}$, Вт, автоматически управляемой СВ и КВ рассчитывается по разработанной авторами программы для ЭВМ [5], осуществляющей решение системы дифференциальных и алгебраических уравнений теплопередачи в ограждающих конструкциях помещения и теплообмена на их поверхностях по конечно-разностной схеме.

После вычисления $Q_{\text{СКВ}}$ можно найти требуемую текущую величину t_n , которую обозначим как $t_{n,j}, ^\circ\text{C}$ [6]:

$$t_{n,j} = t_{\text{в},j} - \frac{3.6 \cdot Q_{\text{СКВ}}}{L_n c_{\text{в}} \rho_{\text{в}}}, \quad (2)$$

где $t_{\text{в},j}$ – текущее значение температуры внутреннего воздуха в помещении, $^\circ\text{C}$, получаемое по результатам предыдущего расчета нестационарного теплового режима с учетом влияния на него системы автоматического регулирования (САР).

Суммарное энергопотребление системой ΣQ , Дж, за промежутков времени τ , с, тогда можно найти из выражения [7]:

$$\Sigma Q = \frac{L_n c_{\text{в}} \rho_{\text{в}}}{3.6} \int_0^{\tau} (t_{n,j} - t_n) d\tau \approx \frac{L_n c_{\text{в}} \rho_{\text{в}}}{3.6} \cdot \Delta \tau \sum_1^j (t_{n,j} - t_n). \quad (3)$$

Самарин О.Д., Азиевская С.С. Влияние закона регулирования на годовой расход теплоты автоматизированными климатическими системами

Здесь t_n – температура наружного воздуха, °С; Δt – принятый в конечно-разностной схеме шаг по времени, с. Для экономии машинного времени и ускорения расчетов их можно провести для нескольких суток при $t_n = t_{от}$, а затем вычислить отношение величины ΣQ , соответствующей тому или иному значению времени интегрирования (изодрома) $T_{и}$, с, при использовании ПИ-закона регулирования, к контрольному уровню ΣQ для П-закона. Это и будет относительное изменение энергопотребления за счет варьирования величины $T_{и}$, которое можно включить в качестве поправочного коэффициента в формулу (1) для определения абсолютного превышения энергозатрат. Возможность подобной процедуры была ранее обоснована применительно к использованию утилизации теплоты вытяжного воздуха в работе [8], где показано, что проведение вычислений только при $t_n = t_{от}$ и распространение полученных соотношений на изменение потребления теплоты в целом за отопительный период приводит к неточности, не превышающей 1–2 % и заведомо лежащей в пределах погрешности аппроксимации конечно-разностной схемы.

На рис. 1 показаны результаты расчетов по рассматриваемой методике для характерного помещения-представителя. Поскольку чистый П-закон формально соответствует условию $T_{и} \rightarrow \infty$, вычисления производились с переменной величиной $T_{и}$, которая постепенно повышалась до тех пор, пока значение ΣQ не переставало изменяться. Сплошная линия соответствует полностью конвективному характеру возмущающего теплового воздействия, т.е. доле конвективной составляющей в нем $q_k = 1$, а пунктирная – более часто встречающемуся случаю значительной доли лучистых теплопоступлений, а именно $q_k = 0.4$. Видно, что введение И-компоненты в регулятор действительно способствует росту не только установленной мощности оборудования, но и увеличению затрат теплоты, которое может достигать 8–11 % по сравнению с использованием чистого П-регулятора. Некоторый слабо выраженный максимум на обеих кривых при $T_{и}$ порядка 10000 с, вероятно, можно объяснить погрешностью аппроксимации при использовании конечно-разностной схемы. В то же время в случае $T_{и} < 1000$ с для обоих вариантов уровень отклонения относительного энергопотребления становится уже практически постоянным, не зависящим от $T_{и}$, поэтому его также можно считать предельным, только уже для чистого И-закона.

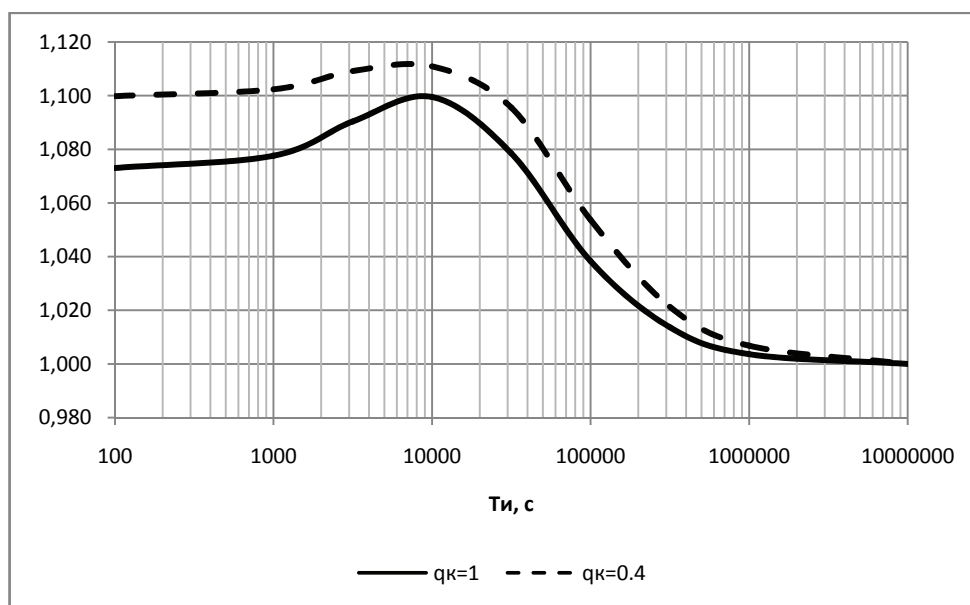


Рисунок 1. Зависимость относительного энергопотребления системой вентиляции от величины $T_{и}$

За рубежом близкие подходы к оценке влияния способа регулирования на энергопотребление климатических систем можно встретить, например, в источнике [9]. Отдельные соображения подобного рода появлялись еще в работе [10]. Хотя в целом такие публикации достаточно редки, в основном рассматриваются пассивные мероприятия по энергосбережению [11].

Полученные данные могут служить основой для технико-экономического анализа, поскольку годовые эксплуатационные издержки, связанные с потреблением теплоты в СВ и КВ, вычисляются именно через величину Q_r и текущий тариф на тепловую энергию [4]. Следовательно, нетрудно определить и годовую экономию за счет использования наиболее целесообразного закона регулирования.

Самарин О.Д., Азизская С.С. Влияние закона регулирования на годовой расход теплоты автоматизированными климатическими системами

Если в качестве примера рассмотреть здание средней школы по типовому проекту 221-1-25-387 [12], подробно исследованное ранее в работе [4], можно прийти к следующим результатам. Для данного здания $L_n = 15200 \text{ м}^3/\text{ч}$, $Z_p = 10 \cdot 5 = 50$ часов в неделю; кроме того, $D_d = 4515 \text{ К}\cdot\text{сут}$. Тогда по формуле (1) находим:

$$Q_c = (50/7) \cdot 15200 \cdot 1.005 \cdot 1.2 \cdot 4515 \cdot 10^{-6} = 591.2 \text{ ГДж}.$$

Будем считать, что это минимальная контрольная величина, соответствующая применению П-закона. В этом случае превышение энергозатрат для $q_k = 1$ в соответствии с рис. 1, если не обращать внимания на максимум кривой, составит $0.075 \cdot 591.2 = 44.3$ ГДж или $44.3/4.19 = 10.57$ Гкал в год, а при $q_k = 0.4$ – даже $0.1 \cdot 591.2 = 59.1$ ГДж или $59.1/4.19 = 14.1$ Гкал. При тарифе на тепловую энергию, равном $1433.11 \text{ руб./Гкал}$ по данным ОАО «МОЭК» на 2011 год для нежилых зданий [13], это означает увеличение годовых расходов на теплоту при использовании ПИ-закона в размере вплоть до $10.57 \cdot 1433.11 = 15148 \text{ руб.}$ и $14.1 \cdot 1433.11 = 20207 \text{ руб.}$ соответственно. В результате сумма получается достаточно значительной, к тому же при переходе к П-регуляторам капитальные затраты не увеличиваются, а даже наоборот, как правило, сокращаются, так как более простые устройства должны стоить дешевле. Но даже если не учитывать разность единовременных расходов, это уже означает, что имеет место абсолютная экономическая целесообразность принятого решения, поскольку оно дает возможность сократить эксплуатационные издержки без повышения капитальных затрат.

Таким образом, при периодическом характере колебаний теплового возмущения, по-видимому, наилучшим будет применение П-закона, поскольку он требует наиболее простых и дешевых технических средств автоматизации и в то же время обеспечивает минимальное суммарное энергопотребление системами обеспечения микроклимата.

Литература

1. Горшков А. С. Энергоэффективность в строительстве: вопросы нормирования и меры по снижению энергопотребления зданий // Инженерно-строительный журнал. 2010. №1. С. 9–13.
2. Комков В. А., Тимахова Н. С. Энергосбережение в жилищно-коммунальном хозяйстве. М.: ИНФРА-М, 2010. 320 с.
3. Богуславский Л. Д., Симонова А. А., Митин М. Ф. Экономика теплогазоснабжения и вентиляции. М.: Стройиздат, 1988. 351 с.
4. Самарин О. Д. Вопросы экономики в обеспечении микроклимата зданий. М.: АСВ, 2011. 128 с.
5. Самарин О. Д., Азивская С. С. О численном расчете коэффициента ассимиляции переменных теплопоступлений при автоматизации систем обеспечения микроклимата // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 5. С. 31–33.
6. Хрусталев Б. М., Кувшинов Ю. Я., Копко В. М. Теплоснабжение и вентиляция. М.: АСВ, 2010. 784 с.
7. Кувшинов Ю. Я. Теоретические основы обеспечения микроклимата помещения. М.: АСВ, 2007. 184 с.
8. Самарин О. Д. О соотношении температурной эффективности теплоутилизаторов и снижения энергопотребления в системах вентиляции // Энергосбережение и водоподготовка. 2009. № 2. С. 40–42.
9. Valancius K., Sasnauskaite V. An influence of the control of heating system to the design heat load and demand of a building // Environmental engineering. Pap. of the 7-th conf. of VGTU. Vilnius: 2008. Pp. 882–885.
10. Keller B., Magyari E. A simple calculation method of general validity for the design-parameters of a room/building, minimizing its energy and power demand for heating and cooling in a given climate. Zürich: 1998. 57 p.
11. Lapinskiene V., Paulauskaite S., Motuziene V. The analysis of the efficiency of passive energy saving measures in office buildings // Environmental engineering. Pap. of the 8-th conf. of VGTU. Vilnius: 2011. Pp. 769–775.
12. Строительный каталог. Перечень типовой документации общественных зданий для строительства в городах и поселках городского типа. М.: ГУП ЦПП, 1994.
13. Московская объединенная энергетическая компания. [Электронный ресурс] URL: www.oaomok.ru. (Дата обращения: 12.03.2012).

**Олег Дмитриевич Самарин, Москва, Россия*

Тел. раб.: +7(499)188-36-07; эл. почта: samarin1@mtu-net.ru

Самарин О.Д., Азивская С.С. Влияние закона регулирования на годовой расход теплоты автоматизированными климатическими системами

doi: 10.5862/MCE.28.7

The influence of control algorithm on the annual energy consumption of automated climate systems

O. D. Samarin*Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia*

+7(499)188-36-07; e-mail: samarin1@mtu-net.ru

S. S. Azivskaya*Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia*

Keywords

automatic control system; power consumption; control algorithm; investment costs; operating costs

Abstract

In the paper the estimation of energy consumption of the automated ventilating systems and air conditionings (V and AC) under condition of their regulation "on deviation" is reviewed.

The analysis of processes descending in V and AC and maintained room is given. The outcomes of numerical calculation of a non-steady thermal mode of a room with the computer program designed by authors are adduced. Calculations were organized on different combinations of radiant and convective components of variable heat ingress.

The optimal control algorithm of V and AC from the point of view of minimal general energy consumption during the heating system is found. The presentation is illustrated by a graphic stuff and by a numerical example of technical and economical estimation of optimal control algorithm using.

References

1. Gorshkov A. S. *Magazine of civil engineering*. 2010. No. 1. Pp. 9 – 13. (rus)
2. Komkov V. A., Timakhova N. S. *Energoberezhenie v zhilishchno-kommunalnom khoziai-stve* [Energy efficiency in housing and communal services]. Moscow: INFRA-M, 2010. 320 p. (rus)
3. Boguslavskii L. D., Simonova A. A., Mitin M. F. *Ekonomika teplogazosnabzheniia i ventilatsii* [Economics of heating and ventilation systems]. Moscow: Stroizdat, 1988. 351 p. (rus)
4. Samarin O. D. *Voprosy ekonomiki v obespechenii mikroklimata zdanii* [Questions of economics in indoor climate providing]. Moscow: ASV, 2011. 128 p. (rus)
5. Samarin O. D., Azivskaya S. S. *Magazine of civil engineering*. 2011. No. 5. Pp. 31 – 33. (rus)
6. Khrustalev B. M., Kuvshinov Iu. Ia., Kopko V. M. *Teplosnabzhenie i ventilatsiia* [Heating and ventilation systems]. Moscow: ASV, 2010. 784 p. (rus)
7. Kuvshinov Iu. Ia. *Teoreticheskie osnovy obespecheniia mikroklimata pomeshcheniia* [Theoretical basis of indoor climate providing]. Moscow: ASV, 2007. 184 p. (rus)
8. Samarin O. D. *Energoberezhenie i vodopod-gotovka* [Energy saving and water purification]. 2009. No. 2. Pp. 40 – 42. (rus)
9. Valancius K., Sasnauskaite V. An influence of the control of heating system to the design heat load and demand of a building. *Pap. of the 7-th conf. "Environmental engineering" of VGTU*. Vilnius: 2008. Pp. 882–885.
10. Keller B., Magyari E. *A simple calculation method of general validity for the design-parameters of a room/building, minimizing its energy and power demand for heating and cooling in a given climate*. Zürich: 1998. 57 p.
11. Lapinskiene V., Paulauskaite S., Motuziene V. The analysis of the efficiency of passive energy saving measures in office buildings. *Pap. of the 8-th conf. "Environmental engineering" of VGTU*. Vilnius: 2011. Pp. 769 – 775.
12. *Stroitelnyi katalog. Perechen tipovoi dokumentatsii obshchestvennykh zdanii dlia stroitelstva v gorodakh i poselkakh gorodskogo tipa* [Construction directory. The list of standard documentation for the construction of public buildings in cities and towns]. Moscow: GUP TcPP, 1994. (rus)
13. *Moskovskaia obedinennaia energeticheskaia kompaniia* [Moscow United Energy Company]. [Electronic resource]. URL: www.oaomok.ru. (Date of request: 12.03.2012). (rus)

Full text of this article in Russian: pp. 48-50.

Samarin O.D., Azivskaya S.S. The influence of control algorithm on the annual energy consumption of automated climate systems